

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-299731

(43)Date of publication of application : 11.10.2002

(51)Int.Cl. H01S 3/06
H01S 3/0933
H01S 3/10

(21)Application number : 2001-104942

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 03.04.2001

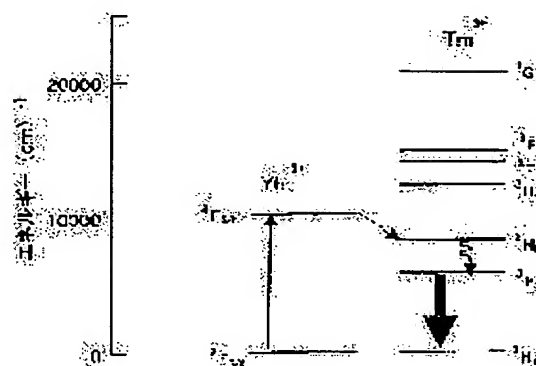
(72)Inventor : SHIMIZU MAKOTO
KANAMORI TERUHISA
MORI ATSUSHI

(54) AMPLIFIER FOR OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To operate an amplifier for optical fiber at high efficiency by using a wavelength of excitation light capable of disregarding absorption between the excitation levels of Tm(thulium) ion.

SOLUTION: First, Yb(ytterbium) is first excited by a system co-added with the Yb, rather than directly exciting the Tm ions, and then due to the energy transfer between Yb and Tm ions of 3H3 level of Tm are excited, and a population inversion between 3F4 and 3H6 levels is formed through no-radiative process.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

01.04.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-299731

(P2002-299731A)

(43) 公開日 平成14年10月11日 (2002. 10. 11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 S	3/06	H 0 1 S	B 5 F 0 7 2
	3/0933		Z
	3/10		S
		3/10	
		3/091	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-104942(P2001-104942)

(22) 出願日 平成13年4月3日 (2001. 4. 3)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 清水 誠

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 金森 照寿

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外1名)

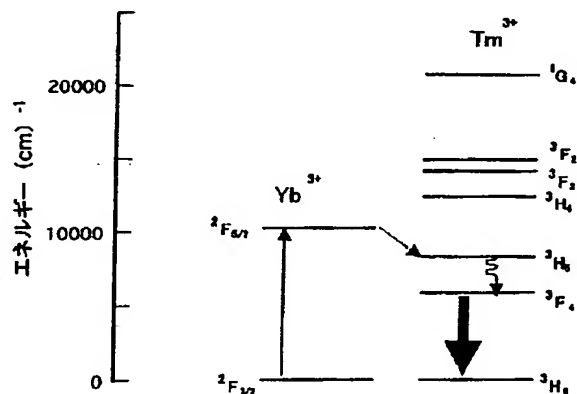
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【課題】 Tm (ツリウム) イオンの励起準位間吸収を無視し得る励起光の波長を使用し、光ファイバ増幅器の高効率化を図る。

【解決手段】 Tm イオンを直接励起するのではなく、最初に、Yb (イッテルビウム) を共添加した系により Yb を励起し、次に、Yb-Tm 間のエネルギー移動により Tm の³H₆ 準位にイオンを励起し、無輻射過程を経て³F₄-³H₆ 間の反転分布を形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 増幅媒体である光ファイバにおける励起光の誘導放出現象により信号光を増幅する光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバのコア部分にTmとYbを共添加したことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項2】 増幅媒体である光ファイバにおける励起光の誘導放出現象により信号光を増幅する光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバのコア部分にTmとYbを共添加し、前記光ファイバのクラッド部分にTb、Ho、Eu、Dy、SmまたはNdのうち少なくとも1つを添加したことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項3】 前記励起光の波長は、0.85 μ m以上0.98 μ m以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項4】 前記信号光の波長は、1.6 μ m以上2.0 μ m以下であることを特徴とする請求項1または3に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項5】 前記信号光の波長は、1.6 μ m以上1.7 μ m以下であることを特徴とする請求項2または3に記載の光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ増幅器に関し、より詳細には、光ファイバを伝送媒体とする光伝送システムにおいて、1.6 μ mから1.9 μ mに増幅波長帯域を有する光ファイバ増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、希土類を添加した光ファイバを増幅媒体とし、この光ファイバに供給された励起光のエネルギーにより引き起こされた誘導放出現象によって、信号光を増幅する光ファイバ増幅器が知られている。特に、1.6 μ mから1.9 μ mを増幅帯域とする希土類添加光ファイバ増幅器として、Tm（ツリウム）を活性イオンとして用いたTm添加光ファイバ増幅器（TDF A：Tm-doped fiber amplifier）が知られている。

【0003】図1に、Tmイオンのエネルギー準位を示す。Tmイオンのエネルギー準位の標記（例えば³H₆）法については、T.Sakamoto et al., Proc.OAA'96, pp.40-43, Monterey California, 1996 に記載された、いわゆる阪本による標記法を用いた。Tmイオンのエネルギー準位の標記法としては、他に、Weberらによる方式もあり統一されていない。以下、M.J.Weber et al., "Handbook of Laser Science and Technology" Vol.1, pp.44-45, CRC Press, New York, 1982 に記載された Weberらによる標記法に従う場合には、各準位の呼び名を読み替えて対応する必要がある。

【0004】1.6～1.9 μ mで増幅を行う場合には、基底準位（³H₆）と励起準位（³F₄）間で反転

分布を実現し、誘導放出過程により増幅動作を行うことになる。この場合、特に光通信で有用な1.65 μ m帯で利得を得るためには、³F₄準位内のシュタルク分裂したサブレベルの高エネルギー側を増幅の始準位とするために、³H₆と³F₄間に、かなり強い反転状態を実現する必要がある。従って、励起方法としては、³F₄準位への直接励起の適用は困難であり、より高い励起準位への光励起を行う必要があった。

【0005】このような必要性から、既に、励起波長1.2 μ mにおいて、³H₆から³H₆への励起方法が、T.Sakamoto et al., Proc.OAA'96, pp.40-43, Monterey California, 1996 に記載されている。

【0006】図2に、Tmイオンの吸収及び蛍光スペクトルを示す。³F₄から³H₆への蛍光のピークが1.85 μ m前後にあるために、1.65 μ m近傍で増幅を行う場合には、1.65 μ mより長波長域での増幅された自然放出光（以下、ASE光という。）が、増幅用ファイバを伝搬する際に増幅される現象を、有効に抑圧する必要がある。もし、ASE光の成長を抑圧しない場合には、励起光のエネルギーがASE光の発生と増幅とにより消費され、1.65 μ mでの増幅に寄与しないという問題がある。

【0007】ASE光を抑圧する目的で、例えば、1.7 μ mより長波長域でのファイバの損失を高くして、この波長域でのASE光成分を吸収させることにより、実効的にASE光の成長を抑える手法が、T.Sakamoto et al., Proc.OAA'96, pp.40-43, Monterey California, 1996 に記載されている。

【0008】図3に、従来の1.65 μ m帯で増幅動作する光ファイバ増幅器の利得特性を示す。図3において、点線は、Tmを2000ppmの割合でコアに均一に添加したZr系フッ化物ファイバを増幅媒体に使用し、1.2 μ mの励起光で励起した場合の、1.65 μ mの信号光の利得を評価した結果である。実線は、Tmを2000ppmの割合でコアに均一に添加し、Tb（テルビウム）を4000ppmの割合でクラッドに均一に添加したZr系フッ化物ファイバを増幅媒体に使用し、1.2 μ mの励起光で励起した場合の、1.65 μ mの信号光の利得を評価した結果である。信号光の入射レベルは、-40dBmであり、増幅用ファイバのホストガラス組成と、カットオフ波長と、コアクラッド間の比屈折率差とは、両者とも同じ値である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】図3に示したように、1.2 μ m帯を励起光の波長とすることにより、1.65 μ m帯で利得が得られること、及び1.65 μ m帯で効率的な増幅動作を得るためには、クラッドへのTbの添加が必要である。しかしながら、80mWの励起光量における出力は、入力-40dBmに対して-20dBm以下と低く、励起光から信号光へのエネルギー変換効

率も最大でも10%以下と低く、実用的な特性は実現できなかった。

【0010】図4に、従来の光ファイバ増幅器における励起準位間吸収を示す。例えば、1.2 μm 帯での励起光を用いた場合について説明する。1.2 μm 帯で励起した場合、 $^3\text{H}_4$ に励起されたイオンは、無輻射過程により $^3\text{F}_4$ に緩和する。 $^3\text{F}_4 - ^3\text{F}_2$ 間のエネルギー差は、波長に換算すると約1.2 μm である。また、 $^3\text{F}_4$ 準位に次いで寿命が長い励起準位である $^3\text{H}_4$ から $^1\text{G}_4$ へのエネルギー差も、波長換算にすると約1.2 μm である。このために、図4に示したように、1.2 μm 帯で励起した場合には、複数の励起光による励起準位間吸収（以下、励起光ESAという。）のために、励起光エネルギーが散逸され、 $^3\text{F}_4 - ^3\text{H}_4$ 間の反転分布形成及び誘導放出に有効利用されていないという問題があった。

【0011】TDF Aの励起波長としては、 $^3\text{H}_4$ あるいは $^3\text{F}_2$ を励起するような方式も考えられるが、この場合でも励起光ESAが存在するために、励起光エネルギーの散逸が生じるので、効率的な増幅動作が実現できないという問題もあった。

【0012】本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、 $^3\text{F}_4 - ^3\text{H}_4$ 間の反転分布形成により増幅動作するTDF Aにおいて、励起光ESAが実質的に無視し得る高効率動作が可能な光ファイバ増幅器を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、増幅媒体である光ファイバにおける励起光の誘導放出現象により信号光を増幅する光ファイバ増幅器において、前記光ファイバのコア部分にTmとYbを共添加したことを特徴とする。

【0014】請求項2に記載の発明は、増幅媒体である光ファイバにおける励起光の誘導放出現象により信号光を増幅する光ファイバ増幅器において、前記光ファイバのコア部分にTmとYbを共添加し、前記光ファイバの*

*クラッド部分にTb、Ho、Eu、Dy、SmまたはNdのうちの少なくとも1つを添加したことを特徴とする。

【0015】請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載の前記励起光の波長は、0.85 μm 以上0.98 μm 以下であることを特徴とする。

【0016】請求項4に記載の発明は、請求項1または3に記載の前記信号光の波長は、1.6 μm 以上2.0 μm 以下であることを特徴とする。

10 【0017】請求項5に記載の発明は、請求項2または3に記載の前記信号光の波長は、1.6 μm 以上1.7 μm 以下であることを特徴とする。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0019】図5に、本発明の一実施形態にかかる励起過程及び増幅過程を示す。Tmイオンのエネルギー準位に鑑み、これまでの1.6~1.9 μm 帯で動作するTDF Aの変換効率を劣化させている要因は、励起光の励起準位間吸収によるものである。従って、本実施形態においては、Tmイオンを直接励起するのではなく、最初に、Yb（イッテルビウム）を共添加した系によりYbを励起し、次に、Yb-Tm間のエネルギー移動によりTmの $^3\text{H}_4$ 準位にイオンを励起し、無輻射過程を経て $^3\text{F}_4 - ^3\text{H}_4$ 間の反転分布を形成する。

【0020】図6に、本発明の一実施形態にかかる希土類イオンの吸収及び蛍光スペクトルを示す。この方法では、励起光の波長は、Ybイオンを有効に励起できることが必要であり、その波長は0.95 μm 前後である。一方、Tmイオンでは0.95 μm より短波長域においては、励起光ESAがほぼ無視し得る。YbイオンからTmイオンへのエネルギー移動は、かなり高効率で起こることから、結果として1.65 μm 帯で動作する高効率なTDF Aを実現することができる。

【0021】【第1の実施例】第1の実施例では、2種類の光ファイバ増幅器の利得特性を比較した。以下、増幅器の構成について記す。

増幅器A・増幅用ファイバー-Zr系フッ化物ファイバ

コア：Tm2000ppm及びYb5000ppm添加

クラッド：Tb4000ppm添加

コア・クラッド間比屈折率差：3.7%

カットオフ波長：0.9 μm

・励起光源-0.94 μm 発振の半導体レーザー

増幅器B・増幅用ファイバー-Zr系フッ化物ファイバ

コア：Tm2000ppm添加

クラッド：Tb4000ppm添加

コア・クラッド間比屈折率差：3.7%

カットオフ波長：0.9 μm

・励起光源-1.2 μm 発振の半導体レーザー

【0022】図7に、本発明の第1の実施例における光 50 ファイバ増幅器を示す。光ファイバ701a、701b

を伝送媒体とする光伝送システムにおいて、光ファイバ増幅器は、アイソレータ702a、702bと、信号光／励起光合分波器703と、増幅用光ファイバ704と、励起光源705とから構成されている。信号光／励起光合分波器703は、光ファイバ701aに接続されたアイソレータ702aからの信号光と、励起光源705からの励起光とを合波する。信号光／励起光合分波器703の出力に接続された増幅用光ファイバ704において、誘導放出現象によって増幅された信号光は、アイソレータ702bを介して光ファイバ701bに出力される。信号光／励起光合分波器703は、融着延伸型のファイバカップラを使用した。アイソレータ702a、702bは、2段型偏波無依存型のものを使用した。

【0023】図8に、本発明の第1の実施例における光ファイバ増幅器の利得特性を示す。信号光は、発振波長1.65 μm のDFB-LDを信号光源として使用し、光ファイバ増幅器入力レベルを-30dBmとした場合の利得特性である。図8の横軸は、各々の励起光源705を使用した際の励起光量は、信号光／励起光合分波器703から出射される、言い換えると、増幅用光ファイバ704に入射される励起光量である。図8に示したように、励起光量が160mW以上では、増幅器Aの構成の方が増幅器Bの構成よりも高利得を得ることができ

*【0024】[第2の実施例]第2の実施例では、第1の実施例に示した増幅器Aの構成において、励起光の波長を、0.85、0.88、0.90、0.94、0.95、0.97、0.98 μm の7波長で測定した。励起光源705としては、Arレーザ励起チタンサファイア・レーザを使用し、信号光／励起光合分波器703の出力、言い換えると、増幅用光ファイバ704の入力で励起光量を評価した。励起光量は250mWで一定とした。

10 【0025】図9に、本発明の第2の実施例における光ファイバ増幅器の利得特性を示す。信号光は、発振波長1.65 μm のDFB-LDを信号光源として使用し、光ファイバ増幅器入力レベルを-30dBmとした場合の利得特性である。図9に示したように、励起光の波長として0.85 μm 以上0.98 μm 以下の波長を使用することにより正の利得が得られており、有効であることが明らかである。また、励起波長としては、0.88 μm 以上0.97 μm 以下の波長であればより望ましく、0.91 μm 以上0.96 μm 以下の波長であれば
20 最も望ましい。

【0026】[第3の実施例]第3の実施例では、4種類の光ファイバ増幅器の利得特性を比較した。以下、増幅器の構成について記す。

*

増幅器C・増幅用ファイバー-Zr系フッ化物ファイバ

コア：Tm2000ppm及びYb5000ppm添加

クラッド：Tb4000ppm添加

コア・クラッド間比屈折率差：3.7%

カットオフ波長：0.9 μm

・励起光源-0.94 μm 発振の半導体レーザ

増幅器D・増幅用ファイバー-Zr系フッ化物ファイバ

コア：Tm2000ppm添加

クラッド：Tb4000ppm添加

コア・クラッド間比屈折率差：3.7%

カットオフ波長：0.9 μm

・励起光源-1.2 μm 発振の半導体レーザ

増幅器E・増幅用ファイバー-Zr系フッ化物ファイバ

コア：Tm2000ppm及びYb5000ppm添加

クラッド：希土類未添加

コア・クラッド間比屈折率差：3.7%

カットオフ波長：0.9 μm

・励起光源-0.94 μm 発振の半導体レーザ

増幅器F・増幅用ファイバー-Zr系フッ化物ファイバ

コア：Tm2000ppm添加

クラッド：希土類未添加

コア・クラッド間比屈折率差：3.7%

カットオフ波長：0.9 μm

・励起光源-1.2 μm 発振の半導体レーザ

【0027】第3の実施例で用いた光ファイバ増幅器の構成は、図7に示した構成と同一である。信号光／励起
50 光合分波器703は、誘電体多層膜とファイバコリメータにより組み立てられたバルクタイプの合分波器を使用

した。アイソレータ702a、702bは、2段型偏波無依存型のものを使用した。各々の励起光源705を使用した際の励起光量は、信号光／励起光合分波器703から出射される、言い換えると、増幅用光ファイバ704に入射される励起光量である。増幅器Cから増幅器Fにおいて、励起光量は各々200mWで同一の値とした。

【0028】図10に、本発明の第3の実施例における光ファイバ増幅器の利得特性を示す。図10に示したように、Ybをコアに共添加し、0.94 μ mで励起した場合（増幅器CおよびE）の方が、Ybは未添加で、1.2 μ mで励起した場合（増幅器DおよびF）より高い利得を得ることができる。

【0029】また、増幅用光ファイバ704のクラッドにTbを添加することにより、増幅のピーク波長を短波長側にシフトできることが明らかである。なお、クラッドには、Tbに限らず、Ho（ホロニウム）、Eu（ユキ

増幅器G・増幅用ファイバ・テルライト系ファイバ

コア：Tm2000ppm及びYb5000ppm添加

クラッド：Tb4000ppm添加

コア・クラッド間比屈折率差：1.5%

カットオフ波長：0.9 μ m

・励起光源－0.94 μ m発振の半導体レーザ

増幅器H・増幅用ファイバ・テルライト系ファイバ

コア：Tm2000ppm添加

クラッド：Tb4000ppm添加

コア・クラッド間比屈折率差：1.5%

カットオフ波長：0.9 μ m

・励起光源－1.2 μ m発振の半導体レーザ

【0033】ここでテルライトとは、2酸化テルルを主成分とした酸化物系多成分ガラスである。光ファイバ増幅器の構成は、図7に示した構成と同一である。信号光／励起光合分波器703から出射される、言い換えると、増幅用光ファイバ704に入射される励起光量で評価し、増幅器GおよびHの各々の励起光量は、200mWとした。

【0034】信号光は、発振波長1.65 μ mのDFB-LDを信号光源として使用し、光ファイバ増幅器入力レベルを-30dBmとした場合の利得を評価した結果、増幅器Gでは利得が25dB、増幅器Hでは利得が15dBであった。テルライト系ファイバよりも、Ybが共添加されたファイバを用いた方が、高利得が得られることがわかる。

【0035】本実施形態においては、増幅用ファイバとしてZr系フッ化物と、テルライトガラスとを使用した場合について述べたが、In系フッ化物ガラスや石英系ガラスなどのフッ化物ガラスから酸化物ガラスまでの広いホストガラスの範囲に、本発明を適用することができることは言うまでもない。

【0036】

*－ロビウム）、Dy（ディスプロシウム）、Sm（サマリウム）またはNd（ネオジム）を添加してもよい。

【0030】図10に示した結果から、増幅器Eは、信号光の波長として、1.6 μ mから1.9 μ m以下の範囲でゲインを得ることができるが、励起光量を増やすことにより、1.6 μ mから2.0 μ mの範囲でゲインを得ることができる。なお、1.7 μ m以上1.9 μ m以下の波長であればより望ましく、1.77 μ m以上1.84 μ m以下の波長であれば最も望ましい。

10 【0031】図10に示した結果から、増幅器Cは、信号光の波長として、1.6 μ mから1.7 μ mの範囲でゲインを得ることができるが、1.63 μ m以上1.69 μ m以下の波長であればより望ましく、1.64 μ m以上1.68 μ m以下の波長であれば最も望ましい。

【0032】〔第4の実施例〕第4の実施例では、以下のような光ファイバを増幅媒体として使用した。

30 【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、Ybを共添加することにより、Tmイオンの励起準位間吸収を無視し得る励起光の波長を使用することができるので、Tmイオンの基底準位を最低次・励起準位間での誘導放出により実現される光ファイバ増幅器の高効率化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】Tmイオンのエネルギー準位を示す図である。

【図2】Tmイオンの吸収及び蛍光スペクトルを示す図である。

40 【図3】従来の1.65 μ m帯で増幅動作する光ファイバ増幅器の利得特性を示す図である。

【図4】従来の光ファイバ増幅器における励起準位間吸収を説明するための図である。

【図5】本発明の一実施形態にかかる励起過程及び増幅過程を説明するための図である。

【図6】本発明の一実施形態にかかる希土類イオンの吸収及び蛍光スペクトルを示す図である。

【図7】本発明の第1の実施例における光ファイバ増幅器を示した構成図である。

50 【図8】本発明の第1の実施例における光ファイバ増幅

9

器の利得特性を示す図である。

【図9】本発明の第2の実施例における光ファイバ増幅器の利得特性を示す図である。

【図10】本発明の第3の実施例における光ファイバ増幅器の利得特性を示す図である。

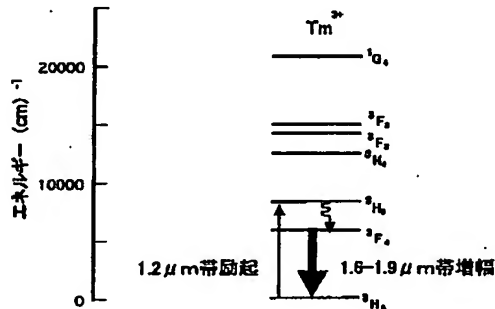
【符号の説明】

*

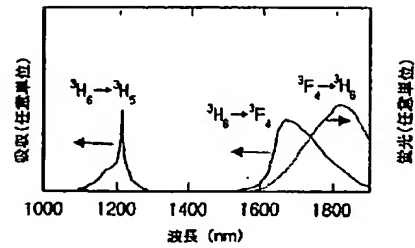
10

- * 701a, 701b 光ファイバ
- 702a, 702b アイソレータ
- 703 信号光/励起光合分波器
- 704 増幅用光ファイバ
- 705 励起光源

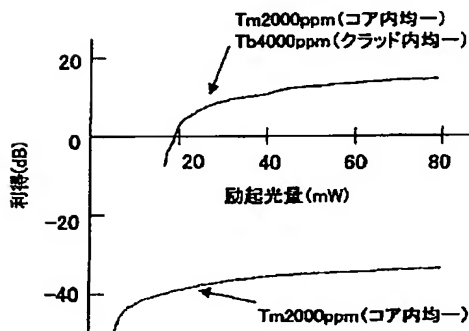
【図1】



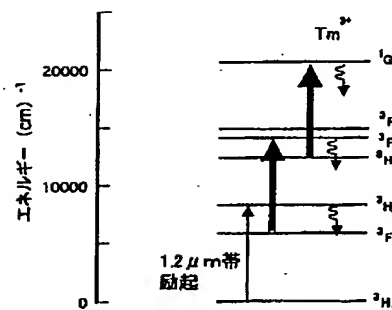
【図2】



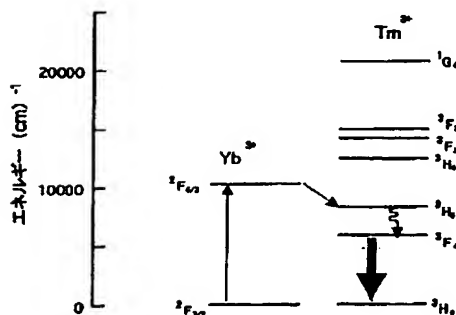
【図3】



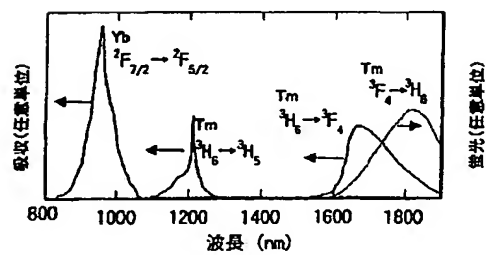
【図4】



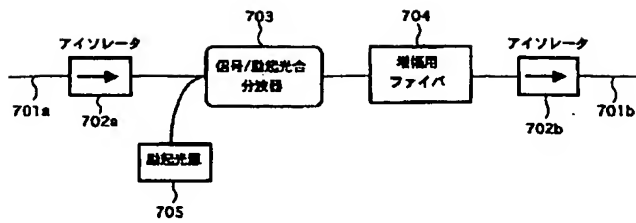
【図5】



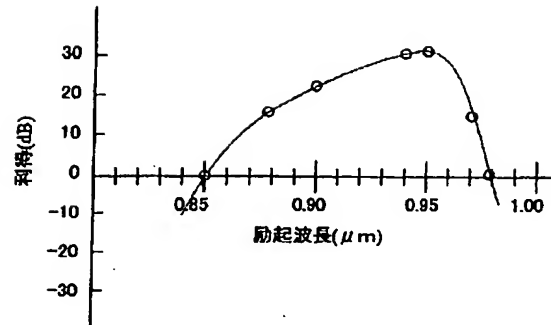
【図6】



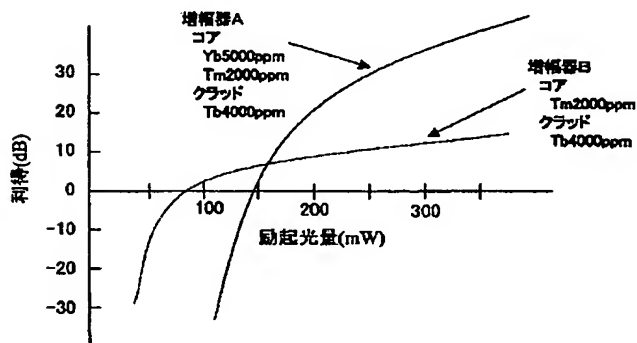
【図7】



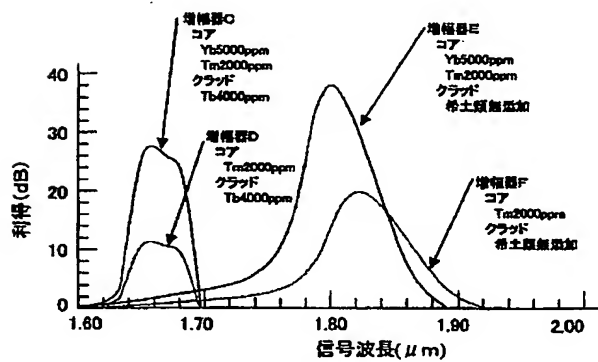
【図9】



【図8】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 森 淳
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5F072 AB07 AK06 JJ02 KK30 PP07
 PP10 RR01 YY17